

Etude biophysique des modifications des tissus dentaires provoquées par l'application locale de strontium

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de docteur en médecine dentaire

par

LÉOPOLD KUN
de Genève

Thèse n° 324

ZURICH
IMPRIMERIE BERICHTHAUS
1976

La Faculté de Médecine, sur le préavis du Professeur *C.-A. Baud*, autorise l'impression de la présente thèse, sans prétendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 26 avril 1976

Le doyen: *William Geisendorf*

Thèse n° 324

Tirage à part de la
«Revue mensuelle suisse d'Odonto-stomatologie» 86: 661, 1976

Etude biophysique des modifications des tissus dentaires provoquées par l'application locale de strontium

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de docteur en médecine dentaire

par

LÉOPOLD KUN

de Genève

Thèse n° 324

ZÜRICH
IMPRIMERIE BERICHTHAUS
1976

Nous aimerions remercier chaleureusement le professeur *C.-A. Baud*, directeur de l'Institut de Morphologie de la Faculté de Médecine de Genève, de nous avoir proposé le sujet de notre thèse, d'avoir guidé cette recherche d'un bout à l'autre avec une constante bienveillance et une disponibilité admirable.

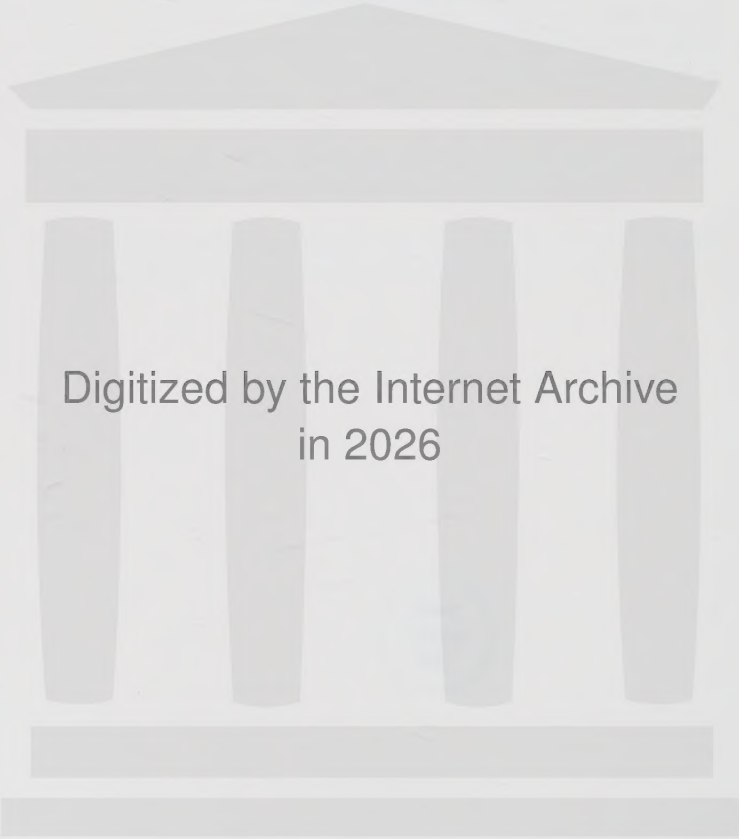
Nos remerciements s'adressent également à tous les membres de l'équipe de Morphologie qui nous ont aidé par de multiples conseils.

Nous remercions enfin la secrétaire Madame *Michèle Rosnoblet* d'avoir eu l'amabilité de dactylographier le manuscrit de notre thèse.



A ma femme





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Introduction

Depuis bientôt 30 ans se succèdent à un rythme de plus en plus accéléré des études cliniques portant sur l'effet désensibilisant du strontium, plus précisément du SrCl_2 , au niveau des collets dentaires hypersensibles. Primitivement utilisé en application locale sous forme de solution aqueuse ou de pâte glycinée à des concentrations diverses variant de 10 à 75% [34, 39], il a ensuite été commercialisé en pâte dentifrice à 10% pour usage quotidien [3]. Bien que le succès thérapeutique du SrCl_2 soit largement reconnu [8, 9, 12, 14, 33, 38, 42, 44, 45, 46, 48, 52, 58], à quelques exceptions près [1, 2, 49, 59], personne ne s'est véritablement intéressé à dépasser le stade des hypothèses quant à son mécanisme d'action. C'est dans le but de préciser ce dernier que nous avons tenté, dans une première partie du travail, à l'aide de la microradiographie à haute résolution, de la microscopie électronique et de la radioanalyse à la microsonde électronique, de visualiser topographiquement le phénomène au niveau de surfaces dentinaires traitées *in vitro* dans une solution de SrCl_2 . Dans une seconde partie, nous avons analysé par diffraction des rayons X des poudres d'émail et de dentine mises en présence d'une solution aqueuse de SrCl_2 pour essayer de déterminer si ce traitement engendrait des modifications cristallographiques de l'apatite dentaire, particulièrement si l'ion Sr s'incorporait à l'intérieur de la maille élémentaire du cristal.

1. Matériel et méthodes

1.1 Matériel

Pour l'étude des surfaces, le matériel est essentiellement constitué de prémolaires d'adolescents (8 à 12 ans) et d'adultes, parfaitement saines,

extraites pour raisons orthodontiques. Pour l'étude des poudres, un lot de dents d'adultes de tous âges, indemnes de carie a été collecté. Après avulsion, les dents sont nettoyées à la main et conservées dans l'alcool absolu.

1.1.1 *Préparation et traitement des surfaces*

Dans un premier temps, on crée dans la dentine, au moyen d'une fraise diamantée cylindrique plate, une cavité allongée verticalement, au centre de la face vestibulaire de la racine, et sur une profondeur d'environ 2 mm ; elle forme un sillon large de 1,5 mm, à fond plat et à parois perpendiculaires.

Dans un second temps, après avoir obturé hermétiquement l'apex à l'aide d'un vernis à ongles, on réhydrate la dent pendant 3 jours dans l'eau déionisée, et on la plonge dans 50 cm³ d'une solution de SrCl₂ à 20%, à température ambiante (18–20 °C). Cette solution, obtenue en dissolvant des cristaux de SrCl₂ · 6 H₂O dans de l'eau déionisée non tamponnée, a un pH compris entre 5,5 et 6 au début de l'expérience et d'environ 6,5 en fin d'expérience. Elle est renfermée dans un erlenmeyer étanche à l'air et remuée continuellement par l'intermédiaire d'un agitateur magnétique. Le temps de traitement a varié de 5 minutes à 96 heures.

Dans un troisième temps, l'échantillon est lavé pendant 5 jours dans un bain de 100 cm³ d'eau déionisée pure, renouvelé chaque 24 heures, sous agitation.

A noter que pour l'analyse à la microsonde, on a testé, en plus des conditions précitées, une concentration de SrCl₂ de 10%, et des temps de rinçage de 1 minute à 30 jours.

1.1.2 *Préparation et traitement des poudres*

Les dents sont séchées quelques jours à l'étuve à 60 °C. Puis les couronnes sont comprimées progressivement entre les 2 mors d'un étau jusqu'au craquellement de l'émail qui se détache alors facilement de la dentine.

Les 2 tissus, séparément, sont pulvérisés par meulage à la fraise diamantée, en évitant tout échauffement, et les poudres recueillies par aspiration sur un filtre millipore selon la technique de *Brudevold* et coll. [10]. La poudre est encore tamisée et seules les particules ayant traversé le tamis 400 mesh sont utilisées. Environ 0,5 g de poudre d'émail ou de dentine ainsi préparée est placée sous agitation dans 50 cm³ de SrCl₂ à 10% dans l'eau déionisée. La durée du traitement a varié de 60 heures à 3 mois, la température du bain étant fixée soit à 20 °C, soit à 37 °C par un bain-

marie muni d'un thermostat régulateur. Dans plusieurs expériences, le pH a été stabilisé à 5 ou à 7 avec des solutions tampons adéquates. Après traitement, les poudres sont filtrées sur millipore à pores de $0,45\ \mu\text{m}$ et replongées dans $100\ \text{cm}^3$ d'eau déionisée pour un rinçage d'une heure avec agitation. A la suite d'une nouvelle filtration, elles sont séchées dans une boîte de Pétri à l'étuve à $60\ ^\circ\text{C}$ pendant 3 jours. Elles sont examinées par diffraction des rayons X avant et après avoir été incinérées au four à $800\ ^\circ\text{C}$ durant 8 heures.

1.2 Méthodes

1.2.1 Microradiographie à haute résolution

Les échantillons sont inclus dans du méthacrylate de méthyle selon la technique de *Baud et Morgenthaler* [7]. Les blocs correctement orientés sont débités à l'aide d'une tronçonneuse Isomet Buehler équipée d'un disque diamanté. On obtient soit des coupes d'environ 10 microns d'épaisseur directement utilisables, soit des tranches d'une centaine de microns qui sont ensuite amincies par usure et polissage entre 2 lames de verre dépoli. Les coupes sont ensuite nettoyées par un bref traitement aux ultrasons et séchées.

2 sortes de coupes sont effectuées: les unes parallèles aux canalicules dentinaires et perpendiculaires à la surface traitée, les autres perpendiculaires aux canalicules et parallèles au plan de la surface traitée.

Les microradiographies sont réalisées à l'aide d'un appareil Philips CMR-5. Pour maintenir le contact entre la coupe et le film, on utilise une caméra à vide. Le film utilisé est le Kodak Spectroscopic 649-0. Avec 3 kV et 3,5 mA, le temps d'exposition varie entre 2 et 12 minutes. Après développement et fixage, les microradiographies sont séchées et montées entre lame et lamelle.

1.2.2 Microscopie électronique

La dent est incluse dans l'épon B selon la méthode de *Luft* [30], puis débitée à la tronçonneuse Isomet en tranches de 100 à 120 microns d'épaisseur, parallèles à l'axe de la dent et passant par le fond de la gouttière. Avec un emporte-pièce de 1 mm de diamètre, on prélève sur les tranches de 100 microns des rondelles contenant la zone dentinaire traitée. Puis les rondelles sont réincluses dans l'épon avec une orientation qui permettra d'effectuer des coupes parallèles ou perpendiculaires aux canalicules.

Les coupes fines sont effectuées au microtome Porter-Blum I équipé d'un couteau en diamant; elles flottent sur de l'eau à pH 7,8 (virage du rouge phénol) afin d'éviter tout risque de déminéralisation et sont recueillies sur des grilles en cuivre recouvertes de formvar.

L'observation est pratiquée à l'aide d'un microscope Philips EM 200 muni d'un dispositif d'anticontamination.

1.2.3 Radioanalyse à la microsonde électronique

Après inclusion dans le méthacrylate, la racine de la dent est partagée en 2 longitudinalement suivant un plan passant par le milieu de la gouttière vestibulaire et le centre de la pulpe, au moyen de la tronçonneuse Isomet. Les surfaces de section sont ensuite polies avec du papier abrasif n° 600, puis avec de la poudre d'oxyde de magnésium. La qualité parfaite du polissage, déterminante pour une analyse sans artéfact, est vérifiée au microscope en lumière rasante. La surface est alors recouverte d'un mince film de carbone déposé par évaporation sous vide, de manière à la rendre conductrice de l'électricité et de la chaleur.

L'analyse simultanée du Ca et du Sr selon la méthode de *Bang et Baud* [4] est pratiquée à l'aide d'une microsonde électronique ARL. Les rayonnements $L\alpha_1$ du Sr et $K\alpha_1$ du Ca sont sélectionnés par des spectromètres à cristaux d'ADP et de LiF et enregistrés graphiquement ou sous forme d'images de rayons X.

1.2.4 Diffraction des rayons X

Pour l'obtention des diagrammes de diffraction des rayons X, nous avons utilisé le rayonnement d'un tube à anode de cuivre et une caméra à monochromateur et focalisation de Guinier. Les enregistrements ont été faits sur film Kodak PE 4006. Les poudres ont été montées au moyen d'un ruban adhésif sur le porte-échantillons de la caméra.

La mesure des cercles de diffraction a été réalisée visuellement au moyen d'une règle millimétrique équipée d'un curseur et d'un vernier donnant une précision de l'ordre de $\pm 0,05$ mm.

2. Résultats

2.1 Microradiographie à haute résolution

Sur les microradiographies de la dentine adjacente à la cavité préparée pour l'expérience mais non traitée, on ne voit que les canalicules radio-transparents interrompus au niveau de la surface, et la dentine intercanaliculaire de densité uniforme (fig. 1, a). Sur les dents traitées pen-

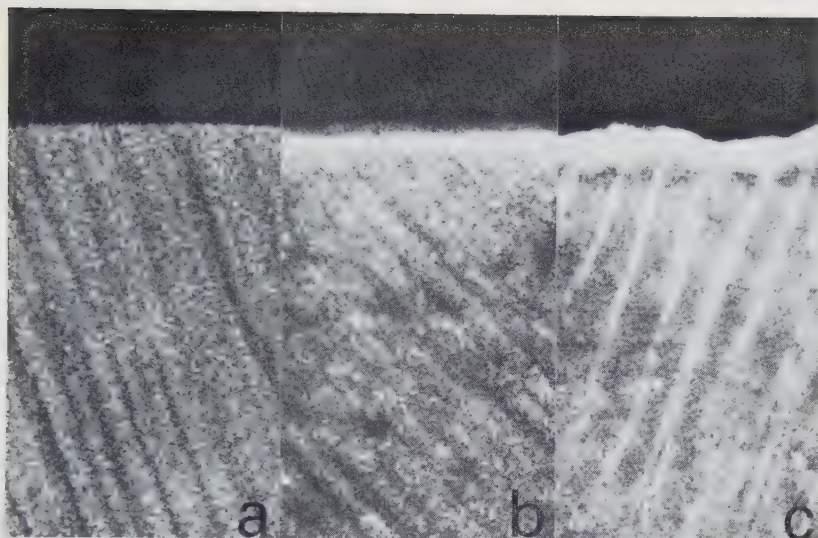


Fig. 1 Microradiographies à haute résolution de coupes minces de dentine non traitée (a), traitée pendant 5 minutes par une solution de SrCl_2 à 20% (b), traitée pendant 96 heures par la même solution (c). Grossissement $500\times$

dant 5 minutes dans la solution de SrCl_2 à 20% puis lavées pendant 5 jours, on remarque un liséré radioopaque et homogène, effaçant la plupart des canalicules, et s'étendant sur une épaisseur de 5 à 10 microns sous la surface dentinaire. Sous ce liséré il y a une zone à limites floues où la dentine intercanaliculaire est un peu densifiée (fig. 1, b). Après un traitement prolongé de 1 à 96 heures et suivi d'un lavage de 5 jours, le liséré se transforme en une bande très radioopaque et un peu plus épaisse, de 8 à 12 microns environ, à contours irréguliers, où on ne distingue plus les canalicules; dans la dentine sous-jacente, les canalicules sont opaques sur une longueur variable de l'ordre de 50 à 100 microns (fig. 1, c) et entourés d'une substance intercanaliculaire plus dense.

2.2 Microscopie électronique

Sur les micrographies électroniques, les couches les plus superficielles de la dentine traitée ont une texture microscopique et submicroscopique complètement bouleversée. Il n'est plus possible de distinguer les canalicules et la matrice intercanaliculaire. La bande dense apparaît uniformément constituée d'un matériel opaque aux électrons sous forme de grains arrondis ou ovalaires de taille variable, d'aiguilles et de plaques



Fig. 2 Micrographie électronique d'une coupe ultramince de dentine traitée pendant 96 heures par une solution de SrCl_2 à 20 %, montrant le dépôt granuleux dans la couche superficielle (S) et dans un canalicule (C), et la dentine normale (D). Grossissement 40000 $\times$

rectangulaires, qui s'est déposé en une masse compacte dans la matrice de la dentine et à sa surface où il est resté adhérent au cours des divers temps de la technique de préparation (fig. 2, S). Les irrégularités de la surface dentinaire et les segments des canalicules adjacents sont également pénétrés et remplis par cette masse granuleuse (fig. 2, C). Plus profondément, la texture submicroscopique normale de la dentine est identifiable (fig. 2, D), mais on remarque que si certaines lumières de canalicules ont une structure normale, d'autres sont partiellement ou complètement envahies d'un dépôt granuleux identique à celui des couches superficielles.

2.3 Radioanalyse à la microsonde électronique

La radioanalyse par microsonde électronique permet de mettre en évidence le strontium et le calcium, en détectant les rayons X caractéristiques émis par ces éléments sous l'influence du bombardement par les électrons.

Une vue d'ensemble de la répartition topographique de Sr et de Ca est obtenue en photographiant sur l'écran d'un tube cathodique l'image formée par les rayons X qu'émet la préparation. Sur des coupes perpendiculaires à la surface dentinaire traitée, on voit que le calcium est réparti d'une manière uniforme, sauf dans la couche superficielle qui en contient très peu (fig. 3, Ca). Au contraire, la concentration en strontium est très élevée dans cette couche, épaisse d'environ 20 microns dans les préparations traitées pendant 96 heures (fig. 3, Sr). La comparaison de ces images avec les microradiographies montre que la couche riche en strontium correspond à peu près à la bande radio-opaque.

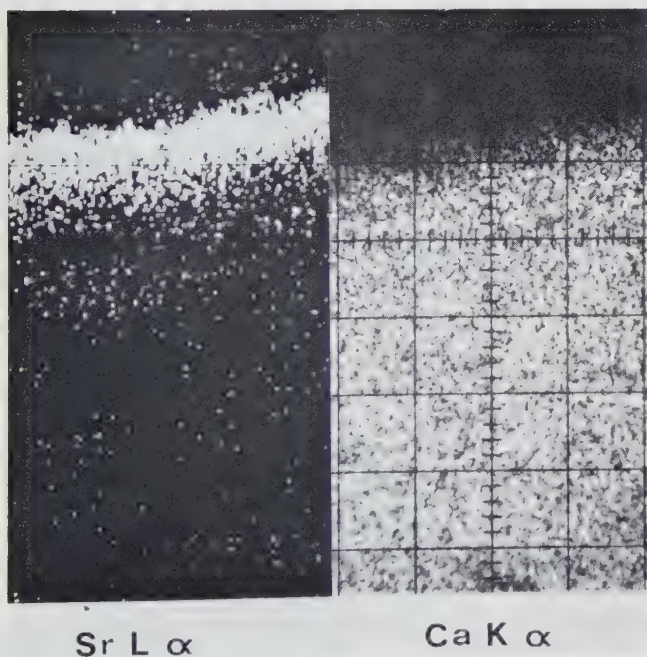


Fig. 3 Images fournies par le radioanalyseur à microsonde électronique pour le rayonnement X Sr L α (à gauche) et Ca K α (à droite) émis par une section polie de dentine traitée pendant 96 heures par une solution de SrCl₂ à 20 %. Grossissement 200 $\times$.

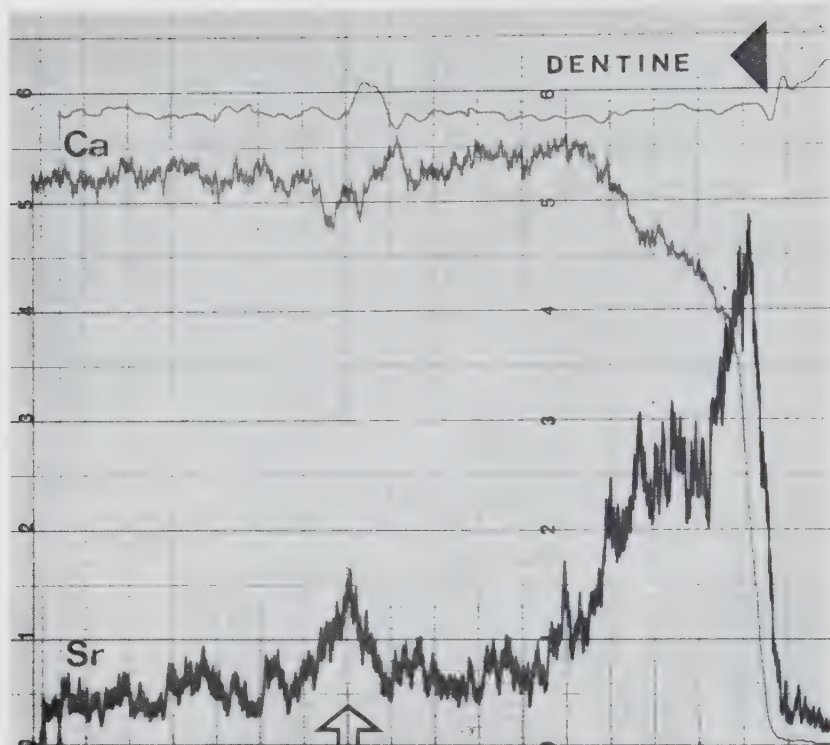


Fig. 4 Enregistrement graphique fourni par le radioanalyseur à microsonde électronique pour le rayonnement X Sr Lx et Ca Kx le long d'une ligne de balayage partant de la surface dentinaire traitée (flèche noire à droite) et passant par un canalicule (flèche blanche en bas) sur une section polie de dentine traitée pendant 96 heures par une solution de SrCl_2 à 20%. 1 division du graphique = 5 microns

Une évaluation plus précise de la teneur en strontium et en calcium dans les différentes parties de la préparation est obtenue au moyen d'un enregistrement graphique de la quantité de rayonnement X émis et détecté par un compteur. L'enregistrement simultané le long d'une ligne perpendiculaire à la surface dentinaire traitée, de la quantité de rayonnement X émis par le calcium et le strontium, montre une distribution très différente de ces 2 éléments. La concentration en strontium est maximale à la surface, puis diminue progressivement pour devenir à peu près nulle à partir d'une profondeur de 25 microns, à l'exception de quelques petits pics de concentration élevée correspondant à des canalicules situés le long de la ligne de balayage (fig. 4, Sr). Par contre, la concentration en

calcium est l'inverse de celle en strontium: nulle en surface, elle s'élève progressivement pour atteindre son maximum au point où le strontium disparaît (fig. 4, Ca).

En faisant varier les conditions de traitement, on constate que la concentration en strontium est d'autant plus élevée dans l'échantillon que celui-ci a été traité plus longtemps par la solution de SrCl_2 , et que cette solution était plus concentrée. Après 5 jours de lavage, la presque totalité du strontium soluble a été éliminée, et la prolongation du lavage pendant 25 jours supplémentaires n'en extrait plus de quantité notable. Une proportion importante de strontium se trouve donc fixé sous forme stable dans la dentine.

2.4 Diffraction des rayons X

L'analyse des poudres d'émail et de dentine par diffraction des rayons X permet de déterminer la forme sous laquelle le strontium se trouve déposé.

La poudre d'émail non traitée donne un diagramme de diffraction comparable à celui de l'apatite calcique (fig. 5, A; tab. I, A). Après traite-

Tab. I Distances réticulaires de la substance minérale de l'émail témoin (A), traité (B), traité et chauffé (C), comparées à celles de l'hydroxylapatite strontique (D)

A	B	C	D*
	4,93		
		4,16	
	3,61		3,61
		3,57	
3,44	3,44		
	3,33		3,33
		3,28	
	3,22		3,21
		3,14	
	2,93 ₅		2,93
	2,90 ₄		2,91
		2,87 ₇	
2,82 ₁	2,82 ₁		
2,78 ₂	2,78 ₂		
		2,77 ₇	
2,72 ₅	2,72 ₅		
		2,70 ₆	
2,63 ₇	2,63 ₇		

*D'après Klement [26]



Fig. 5 Diagrammes de diffraction des rayons X obtenus avec des poudres d'émail témoin (A), traitées par une solution de SrCl_2 à 10 % pendant 75 jours (B), traitées et chauffées à 800 °C pendant 8 heures (C), et des poudres de dentine témoin (D), traitées par une solution de SrCl_2 à 10 % pendant 75 jours (E), traitées et chauffées à 800 °C pendant 8 heures (F)

ment par la solution de SrCl_2 à 10 % pendant 75 jours à 37 °C et lavage, la poudre d'émail fournit un diagramme montrant, en plus des raies de l'échantillon non traité, une série de raies supplémentaires (fig. 5, B; tab. I, B) correspondant à l'apatite strontique (tab. I, D), et en plus une raie large et intense à 4,93 Å dont l'origine n'a pu être élucidée. Après chauffage à 800 °C pendant 8 heures, le diagramme obtenu montre une position des raies intermédiaire entre celle de l'apatite calcique et celle de l'apatite strontique (fig. 5, C; tab. I, C); la raie à 4,93 Å a disparu. La poudre de dentine fournit des résultats similaires, soit un diagramme d'apatite calcique avant traitement (fig. 5, D), d'apatite calcique et d'apatite strontique après traitement (fig. 5, E), d'apatite mixte calcio-strontique après chauffage (fig. 5, F).

Ni le pH de la solution employée pour le traitement (non tamponné à 5,5-6,5, neutralisé à 7 ou maintenu à 6,8 par le tampon de Michaelis) ni la température pendant le traitement (20 ou 37 °C) n'apportent de modifications significatives de ces résultats. La quantité d'apatite strontique formée dépend de la durée du traitement.

3. Discussion

3.1 Structure et signification du dépôt strontique

Nos observations microradiographiques et au microscope électronique montrent qu'au contact d'une solution concentrée de chlorure de strontium, il se développe dans la dentine une couche superficielle très compacte d'une substance granuleuse et fortement radio-opaque. Cette couche forme non seulement un revêtement continu dans la zone superficielle, mais encore comble la lumière des canalicules sur une certaine longueur. Ainsi se constitue une barrière qui empêche la pénétration des substances en direction pulpaire (*Zelman et Hillyer* [58]) et qui explique la désensibilisation de la dent, car il est bien connu que l'obturation des canalicules s'accompagne d'une diminution de la sensibilité (*Thomas* [53]).

Le dépôt strontique est stable et sa structure n'est pas modifiée par un lavage prolongé. La présence d'un tel revêtement à la surface des cristaux d'apatite diminue d'ailleurs leur solubilité (*Dedhiya et coll.* [17]) et il en est de même pour la substance minérale de l'émail dentaire (*Manly et Bibby* [31]; *Buonocore et Bibby* [11]).

L'ultrastructure des dépôts strontiques n'est pas spécifique. Elle est comparable à celle observée lors de la reminéralisation dans une solution contenant des ions calcium et phosphate en concentration appropriée (*Mühlemann et coll.* [35]; *Silverstone et Johnson* [47]), mais cependant très différente de celle des dépôts de reminéralisation par le fluorure stanneux (*Wei et coll.* [54, 55, 56]).

L'aspect microradiographique de la dentine traitée par le strontium ne doit pas être confondu avec celui de certaines petites caries superficielles de la racine, où *Westbrook et coll.* [57] ont observé une couche superficielle très dense et aussi une hyperminéralisation des canalicules dentinaires au voisinage immédiat de la lésion.

3.2 Les mécanismes de formation du dépôt strontique

L'analyse par microsonde électronique et par diffraction des rayons X permet de mieux comprendre les mécanismes de l'incorporation du strontium dans les tissus calcifiés et dans la dentine en particulier.

3.2.1 Pénétration du strontium dans la dentine

Nos observations à la microsonde montrent que le strontium, appliqué localement sous forme d'une solution aqueuse de SrCl_2 , pénètre dans la dentine. Une couche superficielle très riche en strontium, dont l'épaisseur

ne dépasse pas une vingtaine de microns, mais qui se prolonge dans les canalicules, est ainsi formée.

Ce résultat confirme en le précisant celui obtenu lors d'expériences *in vitro* exécutées dans des conditions voisines des nôtres par *Stazen et Foreman* [51], qui ont observé par radioanalyse à la microsonde électronique une diffusion du strontium dans la dentine.

In vivo chez le chien, *Karlsson et Penney* [25] ont appliqué sur des surfaces dentinaires aplanies par curetage une solution à 10% de SrCl_2 pendant 30 minutes; le traitement a été répété quotidiennement pendant 7 à 16 jours, puis les dents ont été extraites et examinées. L'analyse par microsonde électronique a révélé la présence de strontium dans la dentine traitée et sa pénétration jusqu'à une profondeur de quelques dizaines de microns.

3.2.2 *Echange ionique strontium-calcium et formation d'apatite strontique*

Le processus fondamental du dépôt de strontium est un échange avec le calcium du tissu calcifié. On sait depuis longtemps que lors du traitement des poudres d'émail, de dentine, d'os ou d'apatite calcique, par une solution de chlorure de strontium, la solution s'appauvrit en strontium qui se fixe sur le tissu calcifié ou l'apatite (*Hodge, Gavett et Thomas* [24]), tandis que le calcium tissulaire ou apatitique passe dans la solution (*Harrison et coll.* [21]). Nos observations à la microsonde ont montré la topographie de cet échange, en mettant en évidence la répartition inverse des concentrations en strontium et en calcium dans la dentine traitée.

Les travaux de *Neuman et Neuman* [37], de *Stark* [50], de *Marshall* [32], de *Rösick et Zimen* [43] ont montré qu'il y avait 2 principaux types de réactions d'échange ionique entre le cristal d'apatite et son environnement liquide:

- l'échange par diffusion ou homotopique, lors duquel un ion passe du cristal à la solution, et un ion de la phase liquide vient occuper la place vacante à la surface ou dans le cristal;

- l'échange par recristallisation ou hétérotopique, lors duquel un ion passe du cristal à la solution, et un ion de la phase liquide est capturé dans un autre site sur le même cristal ou sur un autre cristal dans le voisinage; si le nombre des ions en transfert devient grand, la concentration en ions dans le liquide augmente, certains cristaux peuvent disparaître complètement tandis que d'autres s'accroissent et que de nouveaux cristaux peuvent se former par nucléation.

Les expériences in vitro avec des suspensions aqueuses d'apatite calcique en présence de SrCl_2 montrent qu'il se forme par recristallisation une apatite strontique (*Duff* [19]), dont les constantes réticulaires sont celles des apatites strontiques synthétisées par voie humide (*Klement* [26]; *Collin* [15, 16]; *Hayek et Petter* [22]; *Denk et Boppel* [18]; *Chickerur et coll.* [13]), comme dans nos observations sur la dentine et sur l'émail.

La formation d'apatite strontique se fait sans la formation d'inter-médiaire non cristallins (*Eanes et Posner* [20]), mais il y a d'abord précipitation du phosphate tristrontique qui évolue au cours du temps pour donner une apatite strontique en présence d'un excès de chlore (*Heughebaert et Montel* [23]).

Une discrimination en faveur du calcium (*Likins et coll.* [28, 29]; *Popov et coll.* [41]) ne semble pas exister dans ces conditions de formation.

Le mélange d'apatite calcique et d'apatite strontique se transforme par chauffage en une apatite mixte calcio-strontique avec une valeur inter-médiaire des constantes réticulaires (*Lagergren et Carlström* [27]), dans laquelle les ions strontium occupent préférentiellement les positions dans les colonnes (*Neuman et coll.* [36]).

Une apatite mixte calcio-strontique comparable se dépose dans les tissus osseux formés in vivo chez les animaux soumis à un régime riche en strontium et pauvre en calcium (*Baud et coll.* [5, 6]; *Bang et Baud* [4]).

Résumé

Etude biophysique des modifications des tissus dentaires provoquées par l'application locale de strontium

Les observations microradiographiques et au microscope électronique montrent que l'application locale d'une solution concentrée de chlorure de strontium sur une surface dentinaire abrasée provoque la formation dans la dentine d'une couche superficielle très compacte finement granuleuse et fortement radio-opaque. Cette couche forme non seulement un revêtement continu dans la zone superficielle, mais encore comble la lumière des canalicules sur une certaine distance. Ainsi se constitue une barrière qui diminue la perméabilité et explique la désensibilisation de la dent.

L'analyse à la microsonde électronique et par diffraction des rayons X montre que le processus fondamental du dépôt de strontium est un échange avec le calcium du tissu dentinaire, avec recristallisation sous forme d'apatite strontique.

Zusammenfassung

Biophysikalische Untersuchungen über Veränderungen der Zahnhartgewebe, verursacht durch lokale Strontiumbehandlung

Mikroradiographische und elektronenmikroskopische Beobachtungen zeigen, dass bei lokaler Applikation einer konzentrierten Strontiumchloridlösung auf eine abgeschleufte Dentinoberfläche eine sehr dichte Oberflächenschicht entsteht, die feinkörnig und stark radioopak erscheint. Diese Schicht bildet nicht nur eine ununterbrochene Ablagerung

in der Dentinoberfläche, sondern sie verstopft auch die Kanälchen bis zu einer gewissen Tiefe. So wird eine Schranke geschaffen, welche die Dentindurchlässigkeit vermindert und die erklärt, warum der Zahn unempfindlich wird.

Durch Elektronenstrahlmikroskopie und Röntgenbeugungsanalyse lässt sich nachweisen, dass der Grundmechanismus dieser Strontiumablagerungen aus einem Austausch des Strontiums mit dem Kalzium der Zahnhartgewebe besteht, mit einer Rekristallisation in Form von Strontiumapatit.

Summary

Biophysical study of the changes induced in dental tissues by topical application of strontium

Microradiographie and electronmicroscopic observations show that topical application of concentrated strontium chloride solution on an abraded dentinal surface caused the formation in the dentine of very compact superficial layer composed of fine granules and with a high degree of radiodensity. This layer not only forms a continuous deposit on the superficial zone, but also penetrates and fills the canalicules to a certain distance. A barrier is thus created, diminishing the permeability of the dentine, which would explain the desensitization of the tooth.

Electron probe microanalysis and X-ray diffraction studies show that the fundamental mechanism of the formation of strontium deposits is an exchange with the calcium of the dentinal tissue, and recrystallization in the form of strontium apatite.

Bibliographie

1. Anderson, D. J.: Desensitizing agents on human dentine. *J.dent.Res.* 43: 871, 1964. —
2. Anderson, D. J., Matthews, B.: An investigation into the reputed desensitizing effect of applying silver nitrate and strontium chloride to human dentine. *Arch.oral Biol.* 11: 1129–1135, 1966. —
3. Anonyme: Another therapeutic toothpaste is placed on market. *J.Alabama dent.Ass.* 45: 29, 1961. —
4. Bang, S., Baud, C. A.: Topographic distribution of strontium and its incorporation into bone mineral substance in vivo. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on X-ray optics and microanalysis*. Ed.: G. Shinoda, K. Kohra and T. Ichinokawa, University of Tokyo Press, pp. 841–845, 1972. —
5. Baud, C. A., Bang, S., Lee, H. S., Baud, J. Ph.: X-ray studies of strontium incorporation into bone mineral in vivo. *Proceedings of the Sixth European Symposium on Calcified Tissues*, Lund 1968. Ed.: J. F. Dymling, G. C. H. Bauer, *Calcif.Tiss.Res.* 2 suppl.: 6, 1968. —
6. Baud, C. A., Moghissi-Bachis, M.: Etude par diffraction des rayons X de la fixation in vivo du strontium dans la substance minérale osseuse. *C. R. Acad.Sci. (Paris)* 260: 5390–5391, 1965. —
7. Baud, C. A., Morgenthaler, P. W.: Recherches sur l'ultrastructure de l'os humain fossile. *Arch.suisses Anthropol.gen.* 17: 52–65, 1952. —
8. Blitzer, B.: Evaluación del cloruro de estroncio en el tratamiento de la sensibilidad dentaria post-tratamiento periodontal. *Rev. Asoc.odontol.Argent.* 54: 13–14, 1966. —
9. Blitzer, B.: A consideration of the possible causes of dental hypersensitivity: treatment by a strontium-ion dentifrice. *Periodontics* 5: 318–321, 1967. —
10. Brudevold, F., Gardner, D. E., Smith, F. A.: The distribution of fluoride in human enamel. *J.dent.Res.* 35: 420–429, 1956. —
11. Buonocore, M. G., Bibby, B. G.: The effects of various ions on enamel solubility. *J.dent.Res.* 24: 103–108, 1945. —
12. Carrasco, H. P.: Strontium chloride toothpaste. — Effectiveness as related to duration of use. *Pharm-Ther.Dent.* 1: 209–215, 1971. —
13. Chickerur, N. S., Singh, R. P., Narasaraaju, T. S. B.: Dissolution kinetics of hydroxylapatites of calcium and strontium. *Naturwissenschaften* 56: 282–283, 1969. —
14. Cohen, A.: Preliminary study of the effects of a strontium chloride dentifrice for the control of

hypersensitive teeth. *Oral Surg. oral Med. oral Path.* 14: 1046–1052, 1961. – 15. *Collin, R.L.*: Strontium-calcium hydroxyapatite solid solutions precipitated from basic, aqueous solutions. *J. Amer. chem. Soc.* 82: 5067–5069, 1960. – 16. *Collin, R.L.*: Preparation and properties of two strontium orthophosphates $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Sr}_6\text{H}_3(\text{PO}_4)_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *J. Chem. Eng. Data* 9: 165–166, 1964. – 17. *Dedhiya, M.G., Young, F., Higuchi, W.I.*: Mechanism for the retardation of the acid dissolution rate of hydroxyapatite by strontium. *J. dent. Res.* 52: 1097–1109, 1973. – 18. *Denk, V.G., Boppel, B.*: Über die Fällung von Phosphaten des Strontiums und Bariums. *Z. anorg. allg. Chem.* 310: 185–194, 1961. – 19. *Duff, E.J.*: Interactions of divalent cations with apatites. In: «Physico-chimie et cristallographie des apatites d'intérêt biologique», Colloques internationaux C.N.R.S. 230: 419–421, 1975. – 20. *Eanes, E.D., Posner, A.S.*: Intermediate phases in the basic solution preparation of alkaline earth phosphates. *Calc. Tiss. Res.* 2: 38–48, 1968.

21. *Harrison, G.E., Lumsden, E., Raymond, W.H.A., Sutton, A., Boyd, J., Neuman, W.F., Hodge, H.C.*: On the mechanisms of the skeletal fixation of strontium. *Arch. Biochem. Biophys.* 80: 97–113, 1959. – 22. *Hayek, E., Petter, H.*: Mischkristallbildung der Hydroxylapatite von Calcium und Strontium. *Mh. Chem.* 91: 356–358, 1960. – 23. *Heughebaert, J.C., Montel, G.*: Evolution dans les eaux mères du phosphate tristrontique précipité obtenu par double décomposition. *C.R. Acad. Sc. (Paris), Sér. C* 265: 1250–1253, 1967. – 24. *Hodge, H.C., Gavett, E., Thomas, I.*: The adsorption of strontium at forty degrees by enamel, dentin, bone, and hydroxyapatite as shown by the radioactive isotope. *J. biol. Chem.* 163: 1–6, 1964. – 25. *Karlsson, U.L., Penney, D.A.*: Natural desensitization of exposed tooth roots in dogs. *J. dent. Res.* 54: 982–986, 1975. – 26. *Klement, R.*: Basische Phosphate zweiwertiger Metalle. IV. Strontium-hydroxylapatit. *Z. anorg. allg. Chem.* 242: 215–221, 1939. – 27. *Lagergren, C., Carlström, D.*: Crystallographic studies of calcium and strontium hydroxyapatites. *Acta chem. scand.* 11: 545–550, 1957. – 28. *Likins, R.C., Posner, A.S., Kunde, M.L., Craven, D.L.*: Comparative metabolism of calcium and strontium in the rat. *Arch. Biochem. Biophys.* 83: 472–481, 1959. – 29. *Likins, R.C., McCann, H.G., Posner, A.S., Scott, D.B.*: Comparative fixation of calcium and strontium by synthetic hydroxyapatite. *J. biol. Chem.* 235: 2152–2156, 1960. – 30. *Luft, H.J.*: Improvements in epoxy resin embedding methods. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* 9: 409–414, 1961.

31. *Manly, R.S., Bibby, B.G.*: Substances capable of decreasing acid solubility of tooth enamel. *J. dent. Res.* 28: 160–171, 1949. – 32. *Marshall, J.H.*: Measurements and models of skeletal metabolism. In: *Mineral metabolism* 3: 1–122. Ed. C. L. Comar and F. Bronner, New York, Academic Press 1969. – 33. *Meffert, R.M., Hoskins, S.W.*: Effect of a strontium chloride dentifrice in relieving dental hypersensitivity. *J. Periodontol.* 35: 232–235, 1964. – 34. *Meisakhovich, J.A.*: Use of strontium chloride as a means of permanent anaesthesia in enamel and dentine hyperaesthesia. *Stomatologija* 2: 24–27, 1946. – 35. *Mühlemann, H.R., Lenz, H., Rossinsky, K.*: Electron microscopic appearance of rehardened enamel. *Helv. odont. Acta* 8: 108–111, 1964. – 36. *Neuman, W.F., Björnerstedt, R., Mulryan, B.J.*: Synthetic hydroxyapatite crystals. II. Aging and strontium incorporation. *Arch. Biochem. Biophys.* 101: 215–224, 1963. – 37. *Neuman, W.F., Neuman, M.W.*: The chemical dynamics of bone mineral. University of Chicago Press, 1958. – 38. *Nevins, L.M.*: Control of resistant dental hypersensitivity. *N.Y. St. dent. J.* 30: 160–162, 1964. – 39. *Pawłowska, J.*: Strontium-chloride—its importance in dentistry and prophylaxis. *Czas. stomat.* 9: 353–361, 1956. – 40. *Pigman, W., Koulourides, T.*: Inhibiting ions for calcification processes. *IADR Abstracts* 45: 55, 1967.

41. *Popov, D.K., Mikhailowa, A.I., Basalaeva, L.N.*: Coprecipitation of strontium with a prototype of bone mineral, calcium hydroxylapatite. *Radiochemistry, transl. from Radiokhimiya* 12: 856–858, 1970. – 42. *Rabbione, M.R.S., De Monteverde, J.*: Dentifricos con cloruro de estroncio. *Odontoiatria (Madr.)* 19: 137–140, 1965. – 43. *Rösick,*

U./Zimen, K.E.: Diffusion von ^{45}Ca , ^{85}Sr und ^{32}P in Hydroxylapatit. *Biophysik* 9: 120–131, 1973. – 44. Ross, M.R.: Hypersensitive teeth: effect of strontium chloride in a compatible dentifrice. *J.Periodontol.* 32: 49–53, 1961. – 45. Shapiro, W.B./Kaslick, R.S./Chasens, A.I./Weinstein, D.: Controlled clinical comparison between a strontium chloride and a sodium monofluorophosphate toothpaste in diminishing root hypersensitivity. *J.Periodontol.* 41: 523–525, 1970. – 46. Shapiro, W.B./Kaslick, R.S./Chasens, A.I.: The effect of a strontium chloride toothpaste on root hypersensitivity in a controlled clinical study. *J.Periodontol.* 41: 702–703, 1970. – 47. Silverstone, L.M./Johnson, N.W.: The effect on sound human enamel of exposure to calcifying fluids in vitro. *Car.Res.* 5: 323–342, 1971. – 48. Skurnik, H.: Control of dental hypersensitivity: preliminary report on a strontium-containing dentifrice. *J.Periodontol.* 34: 183–185, 1963. – 49. Smith, B.A./Ash, M.M.: A study of a desensitizing dentifrice and cervical hypersensitivity. *J.Periodontol.* 35: 222–231, 1964. – 50. Stark, G.: Untersuchungen an synthetischem Hydroxylapatit in Hinblick auf den Knochenstoffwechsel von Calcium, Strontium, Barium und Radium. *Biophysik* 5: 42–54, 55–65, 1968. 51. Stazen, P.J./Foreman, D.W.: Diffusion of strontium from desensitizing agents into human dentin. *IADR Abstracts* 53: 92, 1975. – 52. Svrakoff, D./Dulgorova, E.: Untersuchungen des Zahnschmelzes nach Verwendung von Strontiumchlorid als odontotropes Mittel. *Dtsch.Stomatol.* 21: 146–150, 1971. – 53. Thomas, B.O.A.: Protective metamorphosis of the dentin: its relationship to pain. *J.Amer.dent.Ass.* 31: 459–463, 1944. – 54. Wei, S.H.Y./Massler, M.: Fluoride applications to carious dentin. *J.dent.Res.* 46: 1110, 1967. – 55. Wei, S.H.Y./Kaqueler, J.C./Massler, M.: Remineralization of carious dentin. *J.dent.Res.* 47: 381–391, 1968. – 56. Wei, S.H.Y./Forbes, W.C.: Electron microprobe investigations of stannous fluoride reactions with enamel surfaces. *J.dent.Res.* 53: 51–56, 1974. – 57. Westbrook, J.L./Miller, A.S./Chilton, N.W./Williams, F.L./Mumma, R.D.: Root surface caries: a clinical, histopathologic and micro-radiographic investigation. *Car.Res.* 8: 249–255, 1974. – 58. Zelman, H./Hillyer, C.E.: Treatment of dental hypersensitivity with a strontium chloride dentifrice in a general dental practice. *N.Y.J.Dent.* 33: 259–262, 1963. – 59. Zinner, D.D./Duany, L.F./Lutz, H.J.: Effects of five dentifrices on hypersensitive tooth surfaces. *IADR Abstracts* 53: L85, 1975.

Adresse de l'auteur: L. Kun, Institut de Morphologie, Ecole de Médecine, 1211 Genève 4

